자연보존 132 : 22-29 ; 2005년 12월

기후변화가 건강에 미치는 영향: 우리나라 여름철 혹서로 인한 사망을 중심으로[1)]

박 정 임[2)]
한국환경정책 · 평가연구원

기후가 변하고 있다. 최근 25년 동안 지구 표면온도는 비정상적으로 급격하게 올라간 것으로 관측되었다. 산업화 이후로 지구의 기후시스템이 변하고 있다는 것과 그 변화의 상당 부분이 인간 활동에 기인한다는 것은 이제 기정사실로 받아들여지고 있다(IPCC, 2001). 기후변화의 원인으로 지목되는 온실가스의 농도가 더 이상 증가하지 않고 유지된다고 하더라도 지구는 앞으로도 수백 년은 계속 더워질 것으로 보인다. 기후변화의 증거는 자연계, 생물계 등에서 다양하게 나타나고 있으며, 인간의 사회, 경제시스템에까지 이미 영향을 미치기 시작했다.

기후변화가 환경, 인체 건강 및 사회경제적인 시스템에 직간접적으로 미치는 영향은 긍정적인 것일 수도 부정적인 것일 수도 있다. 기후변화로 어떤 영향을 얼마나 받을 것인가는 지구온난화의 속도와 크기, 그리고 그에 대응하는 사회의 적응능력에 따라 다를 것이다. 따라서 기후변화가 미칠 위험을 평가/예측하고, 그 위험을 줄이고 위험에 대응할 계획을 세우는 노력이 필요하다.

기후변화가 건강에 어떤 영향을 미칠 것인가에 관한 논의는 1990년에 나온 IPCC 제1차 보고서에도 단지 몇 단락 간략하게 언급되어 있을 정도로 비교적 최근에 이루어지기 시작하였다. 그러나 1990년대를 지나면서 기후변화와 건강 관계에 대한 정식연구가 지속적으로 행해지고 그 결과가 보고되기 시작하였다. 덕분에 IPCC 2차 보고서(1995)와 3차 보고서(2001)에서는 건강에 관한 주제가 중요하게 다루어지기 시작하였다. 최근에는 유럽의 각 나라들, 미국, 호주, 일본 등에서는 국민들의 건강에 기후변화가 미칠 수 있는 위험을 과학적으로 평가하고 잠재된 위험도를 가늠하고자하는 연구를 수행하고 있다. 2002년 세계보건기구(Wold Health Organization, WHO)는 전 지구적인 차원에서 건강에 영향을 미치는 26가지 인자들을 정리하였는데, 기후변화도 여기에 포함되었다[1].

1)Health Effects of Climate Change : Overview and Hot-weather-related Deaths in Korea

2)PARK, Jeongim, Korea Environment Institute; E-mail: jeongim@kei.re.kr

[1]Ezzati M, Lopez AD, Rodgers A, Hoorn SV, Murray CJL, Comparative Risk Assessment Collaborating Group. Selected major risk factors and global and regional burden of disease. Lancet 2002

기후변화로 인한 건강영향의 유형

기후변화가 인체 건강에 미치는 영향은 여름철 혹서나 풍수해로 인한 인명피해와 같은 직접적인 영향과 대기오염, 알레르기 인자의 증가, 전염성 질환, 식품안전 등을 매개로 하는 간접적인 영향으로 나누어 볼 수 있다. 그림 1[2]은 기후변화가 건강에 미치는 영향을 경로에 따라 정리한 것이다.

기후변화와 건강의 관계에 대한 인식이 확산되고, 기후변화협상에서 적응문제가 중요한 쟁점으로 부각됨에 따라 우리나라에서도 기후변화로 인한 건강피해의 가능성이 있는지, 영향이 존재할 가능성이 있다면 어떠한 경향으로 나타나고 있는지 조사한 바 있다[3] (이하 '2003년 건강영향 연구'라 칭함). 분석은 1991년부터 2000년까지 최근 10년간 자료를 대상으로 하였고, 기온변화에 따른 사망자 변화, 기상재해 발생경향과 피해정도, 기후변화로 인한 대기 중 오염물질 농도 변화, 기후변화에 따른 전염성질환 발생 등을 중심으로 검토하였다. 2003년 건강영향 연구결과는 다음 표 1에 요약되었다.

표 1에서 보는 바와 같이 우리나라도 기후변화로 인한 건강피해를 입을 가능성이 충분함을 알 수 있다. 또한 건강영향이 고온 또는 전염병 같이 어떤 특정한 부분에서만 발생할 우려가 있는 것이 아니라 여러 부분에 걸쳐 발생할 가능성이 있는 것으로 조사되었다.

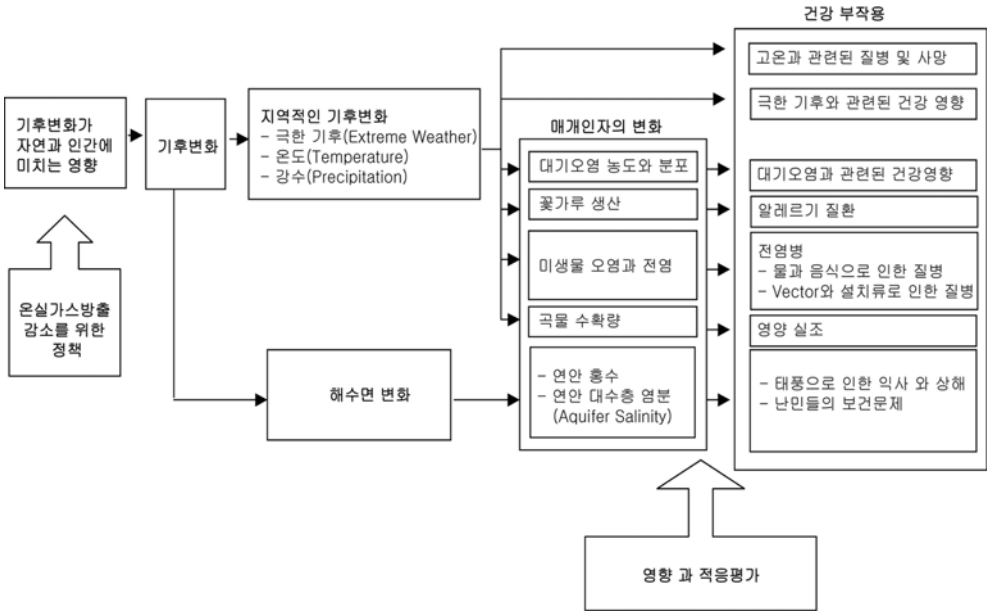


그림 1. 기후변화로 인한 건강영향의 유형.

[2]Andy Hains, Jonathan A. Patz, Health effects of climate change, Journal of American Medical Association, 291(1), 99-103, 2004

[3]환경부, "한반도 기후변화와 영향평가 및 적응프로그램 마련-기후변화로 인한 건강피해 가능성 조사 및 피해 저감 정책 방향에 관한 연구", 2003

표 1. 국내의 최근 10년간 기후변동으로 인한 건강영향 가능성(환경부, 2003년)

건강영향 분야	2003년 건강영향 연구 결과
고온으로 인한 사망, 질병	- 기온상승에 의한 사망자 증가 현상 - 장기간 고온이 지속된 경우 사망자 급증 현상
기상재해로 인한 건강영향	- 홍수, 폭풍 등 발생 기상재해의 강도 증가 추세 - 발생 재해의 지속기간 증가 추세 - 재해로 인한 사망자 증가 추세
기후변화에 따른 대기오염	- 기온상승에 따른 오존농도 증가 현상 - 꽃가루의 농도 증가
질병관련 생태계	- 기온증가에 따른 모기 개체수 증가 현상 - 모기개체수의 증가 추세 - 해수온도의 증가 추세 - 해수온도 증가에 따른 비브리오균 증가 현상
법정 전염병	- 일반 전염병의 감소 추세 - 사라진 질병 중 기후관련 질병의 재현 - 기후관련 질병의 증가 추세

여름철 혹서로 인한 건강영향

인체는 주위 환경과의 계속적인 열 교환을 통하여 체온을 일정하게 유지한다. 심혈관계 조절(cardiovascular regulation)은 고온 환경에서 매우 중요한 체온조절 기능이다. 고온에서는 피부 혈관 확장을 통해 피부 온도를 높임으로서, 복사에 의한 체열 방출을 크게 하려는 생체 반응이 나타난다. 이를 위하여 심장에서는 피부 표면의 순환 혈액량을 증가시키기 위해 맥박이 빨라지고 심박출량(cardiac output)을 증가시킨다. 고온에서는 기초대사에 의한 체열 발생이 감소하여 식욕부진이 오고 음식물 섭취가 줄게 되는데 이를 화학적 조절(chemical regulation)이라 한다. 또한 물리적 조절(physical regulation) 기전으로 고온 환경에서는 발한에 의한 증발열을 통해 체열을 방출하는데, 특히 환경 온도가 34℃ 이상이 되면 모든 체열 방출은 증발에만 의존한다. 따라서 고온 질환 특히 일사병의 발생에는 증발의 역할이 매우 중요하다. 피부발진, 열 피로, 열 경련, 열 졸도, 일사병은 열과 관련된 질병들이다. 대부분의 열과 관련된 질병(피부발진, 열 경련 제외)들은 체온조절 시스템의 감퇴로 인해 발생된다. 고온 노출에 따른 심장의 부담은 곧 열 스트레스(Heat stress)로 연결된다. 적은 스트레스는 견딜 수 있으나 심하고 갑작스런 고온 스트레스는 사망에 이르게도 한다.

기존의 역학연구들을 살펴보면 60세 이상의 연령집단, 도시거주자, 저소득층의 인구집단들이 혹서(heat-waves)에 영향을 가장 많이 받는 것으로 나타났다(환경부, 2003; Basu *et al.*, 2002; Keatinge *et al.*, 2000).

특히 도시지역은 콘크리트와 아스팔트로 인한 열섬효과 때문에 다른 지역보다 온도가 높은 경향이 있다. 1995년, 시카고에 있었던 일주일 동안의 혹서로 700명 이상의 사망자가 발생하였다. 이 기간에 발생한 사망은 주로 심혈관계, 뇌순환계, 호흡기계 질환과 관련이 있었다. 사망자의 상당수는 혼자 사는 노년층이거나 이미 질환이 있던 사람들이었던 것으로 조사되었다. 고령자들은 다른 연령에 비해 열에 대처하는 능력이 취약하다. 65세 이상 인구집단에서 생리적인 열 내성(physiological heat tolerance)에 관한 연구를 살펴보면 항상성(homeostasis)이 약해짐에 따라 고령자들은 고온으로 인해 질병이 발생하는 것을 인식하지 못하였다. 따라서 열에 노출되었을 경우 적절한 대처를 하지 못하는 것으로 나타났다. 최근 30년 동안 발생한 혹서로 인한 건강영향 연구 중 일부를 다음 표 2와 같이 정리하였다.

표 2. 여름철 이상고온으로 인한 건강피해(초과 사망) 사례

혹서지역	건강피해	참고문헌
영국, 1976	- 잉글랜드: 9.7% 증가 - 런던: 15.4% 증가	Lye & Kamal, 1977; McMichael, 1998
포르투갈, 1981	- 포르투갈: 1,906의 초과사망자 발생 - 리스본: 406명의 초과사망자 발생	Garcia *et al*., 1999
이탈리아, 1983	로마: 사망자 수 35% 증가 (65세 이상)	Todisco, 1987
그리스, 1987	아테네: 추정 초과사망자 수 (2,000명 이상)	Katsouyanni *et al*., 1988
포르투갈, 1991	초과사망자 수 (1,001명, 44.7%)	Paixao and Nogeira, 2002
네덜란드, 1994	초과사망자 수 (1,057명)	Huynen, 2001
일본, 1994	오사카: 초과사망자 수 (1,388명)	Bai H *et al*., 1995
영국, 1995	- 잉글랜드, 웨일즈: 초과사망자 768(11.2%) - 런던: 초과사망자 184(23%)	Rooney *et al*., 1998
헝가리, 2000	부다페스트: 초과사망률 52%	Wilhelm K, 2005
유럽, 2003	이탈리아: 초과사망자 3,134명	Centro Nazionale de Epidemiologia, 2003
	프랑스: 초과사망자 14,802명	Institut de Veille Sanitaire, 2003
	포르투갈: 초과사망자 1,854명	Botelho *et al*., 2004
	스페인: 초과사망자 3,166명	Navarro *et al*., 2004
	독일: 초과사망자 1,415명	Sozialministerium Baden-Wuerttemberg, 2003
	잉글랜드/웨일즈: 1,976명	Office for National Statistics, 2003
호주, 2004	12명 사망, 221명 병원입원	Queensland Government, Health Department, 2004

우리나라에서 여름철 혹서로 인한 초과사망

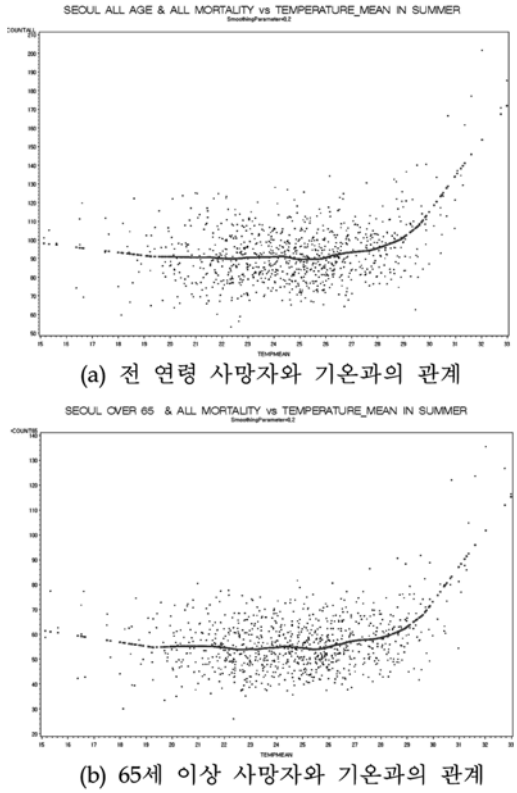
여름철 혹서로 인한 건강피해는 기후변화와의 연관성이 가장 직접적이고, 다른 건강영향 분야와 비교하여 연구방법론이 비교적 잘 정립되어 있는 분야이다. 2003년 유럽을 강타한 혹서로 수만 명이 사망하였다는 보도가 이어지면서 여름철 이상고온으로 인한 건강피해의 심각성이 사회적으로 확산되었다. 우리나라의 경우 지난 1994년이 유례없이 더운 여름이었던 것으로 기억되고 있으나, 그 여름의 건강피해의 규모를 전국적인 차원에서 평가한 적은 없다. 따라서 본고에서는 2003년 건강영향 연구 결과에서 제시한 여러 분야의 건강영향 중 여름철 이상고온으로 인한 건강 피해와 이상고온에 대응하기 위한 방편으로 고온건강경보시스템의 사례를 소개하고자 한다.

다음 표 3은 서울의 여름철(6월~8월)의 일별 사망자 수를 연령별 인구구성비로 표준화한 결과이다. 눈에 띄는 것은 1994년 여름의 일평균 사망자 수(112.76명)가 다른 해에 비하여 14~16% 이상 많았다는 점이다.

1994년부터 2003년까지 10년 동안의 자료를 이용하여 서울의 일평균 기온과 일평균 표준사망자수의 관계를 그래프로 나타낸 것이 다음 그림 2이다. 서울 지역의 일평균기

표 3. 서울의 연도별 여름철(6월~8월) 표준화 일평균 사망자수

연도	전체 연령		65세 이상	
	일평균 사망자수	표준 편차	일평균 사망자수	표준 편차
1994년	112.76	22.43	68.62	17.89
1995년	99.30	11.22	59.17	8.72
1996년	99.18	11.80	60.39	8.75
1997년	97.16	11.78	60.16	9.01
1998년	93.60	10.72	57.59	8.90
1999년	89.93	10.42	54.06	8.85
2000년	89.41	10.60	54.09	7.66
2001년	86.98	9.09	53.61	7.66
2002년	82.93	9.48	50.37	7.56
2003년	76.92	8.40	46.88	6.24



(a) 전 연령 사망자와 기온과의 관계

(b) 65세 이상 사망자와 기온과의 관계

그림 2. 서울의 여름철(6월~8월) 기온과 일평균 표준사망자수의 관계.

온과 일별 사망수의 관계에서는 연령군(전체 연령 또는 65세 이상)에 관계없이 특정 기온 이상에서 사망자 수가 급격하게 증가하는 것으로 관찰되었다. 이것은 기온과 사망과의 관계를 연구하는 기존의 연구결과에서도 자주 볼 수 있는 모양으로 "하키채(stick)" 모양의 관계라고 부르기도 한다.

고온 현상이 사망에 미치는 영향의 크기를 밝히기 위해 사용된 통계분석 방법은 GAM[4] 분석이다. 10년 동안의 자료를 시계열 분석하였으므로 자료의 연도를 보정하여 모형에 입력하였고, 요일별 사망자 수 변이를 보정하였다. 모형에서 기온과 사망 사이에 역치온도(threshold, 사망률에 급격한 변동을 보이는 지점의 기온)가 관찰되는 경우 대략 추정되는 역치온도 주변을 세분하여 반복적으로 모형을 적용하여 역치온도를 결정하고, 역치온도를 초과하였을 경우 사망에 기여하는 정도를 파악하기 위한 분석을 하였다. 다음 표 4는 지역별 역치기온 및 1994년 여름 일평균 기온이 역치 이상 되었을 때 초과로 발생한 사망자 수를 정리한 것이다.

기후변화로 인한 직접적인 건강피해, 그 중에서도 사망에 크게 영향을 미칠 수 있는 요인으로 홍수나 태풍과 같은 기상재해를 들 수 있다. 우리나라에도 해마다 여름이면 기상재해로 인한 사고 사망 소식이 빈번하게

[4]시계열적 분석방법인 일반화 부가모형(General Additive Model, GAM) 모형은 기온 및 대기 오염으로 인한 단기적인 영향을 평가하기 위한 모형이다. 전통적인 회귀모형(Regression model)과는 달리 독립변수들(independent variables)의 비선형성(non-linear)을 가정하여 독립변수들의 non-linear function 값을 이용하는 회귀모형이다. 기상 요소 또는 대기 오염에 의한 일별 사망자 수의 관련성을 평가하는데 있어 각각의 요인들은 선형적으로 영향을 미친다고 가정하기는 어렵기 때문에 널리 사용된다.

표 4. 지역별 역치기온 및 1994년 여름의 초과사망자 수

지역	역치기온 (°C)	전체 연령		65세 이상 연령	
		초과사망자수(95%CI)	비율*[5]	초과 사망자수	비율*
서울	28.1	738.1(609.9-871.7)	7.11	544.0(451.8-640.8)	8.62
대구	28.1	161.3(93.9-232.4)	5.38	180.0(118.5-245.5)	9.70
광주	26.6	50.3(6.3- 97.5)	3.48	38.7(0.7-144.1)	4.34
인천	26.2	134.1(76.5-195.8)	4.74	96.5(52.5-144.1)	5.58

표 5. 여름철 혹서로 인한 초과사망자와 기상재해 사망자 비교

년도	여름철 혹서로 인한 초과사망자 수					기상재해로 인한 사망(실종)
	서울	대구	인천	광주	합계	전국
1991	-	-	-	-	-	240
1992	-	-	-	-	-	40
1993	-	-	-	-	-	92
1994	738	161	134	50	1,083	72
1995	40	71	15	18	144	158
1996	66	57	22	22	167	77
1997	130	20	28	14	192	38
1998	0	14	1	11	26	384
1999	129	3	28	8	168	89
2000	61	14	46	9	130	49
2001	52	46	34	15	147	82
2002	29	16	18	7	70	270
2003	0	3	0	1	4	-
합계	1,245	405	326	155	2,131	1,591

보고되곤 한다. 다음 표 5는 여름철 혹서로 인해 발생한 초과사망자의 규모를 기상재해로 인한 피해와 비교하기 위하여 정리한 것이다.

표 5에서 보이는 바와 같이 1991년부터 2002년까지 지난 십여 년간 우리나라에서 기상재해로 사망(실종)한 사람은 전국에서 1591명으로 집계되었다. 한편 본 연구의 분석대상기간인 1994년부터 2003년까지 여름철 고온으로 인한 사망자수는 4개 대도시에서 모두 2100여명으로 추정되었다. 이는 여름철 혹서로 인한 피해가 기상재해로 인한 피해에 비해 결코 작지 않음을 보여주는 것이다. 따라서 기상재해로 인한 피해를 줄이려는 노력에 못지않은 노력과 조치가 여름철 혹서 관리에도 필요함을 시사한다.

[5]전체 사망 중 역치기온 이상에서 초과발생한 사망의 비율을 나타낸다. 즉, (b/a)× 100. 여기서 a는 1994년 여름철 발생한 총 사망 수이고, b는 baseline 일평균 사망 수 기준으로 한 연도별로 6월, 7월, 8월에 역치기온 초과로 인해 발생한 사망자수를 나타낸다.

혹서로 인한 건강피해를 최소화하기 위한 방안 - 고온건강경보시스템 (Heat Health Warning System)

고온으로 인한 인체건강 영향은 다른 대기오염 물질이나 화학물질에의 노출과 달리 급성으로 나타난다. 고온과 사망 사이의 지연효과(lag effect)를 분석한 대개의 논문에서 고온으로 인한 건강영향은 하루를 넘기지 않고 발생하는 것으로 보고하고 있다. 이렇게 영향이 급성으로 나타나는 특성 때문에 고온으로 인한 영향을 최소화하기위한 노력은 어떤 기상 조건이 가장 건강에 나쁜 영향을 미칠 것인지 분석하는 것에서 시작한다. 어떤 조건에서 건강에 부정적인 영향을 나타내는지 파악하고, 고온에 가장 예민하게 반응하는 인구집단을 대상으로 그 영향을 최소화하기 위한 경보시스템을 운영한다.

나라들마다 조금씩 다른 이름을 쓰고는 있지만[6], 기본적으로 HHWS(고온건강경보시스템)이란 기상예측자료를 활용하는 시스템으로, 비정상적으로 더운 기간에 고온이 인체건강에 미치는 영향을 줄이기 위해 고안된 경보시스템으로 정의할 수 있다[7]. 대개의 경우 고온건강경보시스템은 개별 시(city) 단위로 실행된다. 따라서 경보시스템의 조직, 담당부서, 접근 방법, 경보를 주기 시작하는 기온(또는 기타 기상조건) 등은 매우 다양하다. 2003년 혹서가 발생했을 당시에 유럽에는 리스본과 로마, 단지 두 도시에서만 경보시스템을 갖추고 있었다. 2003년 혹서 이후, 프랑스, 이탈리아, 영국 등은 혹서대책을 세웠고, 2004년 시스템을 가동하기 시작하였다. 1990년대 이후 혹서로 인한 피해를 경험한 미국의 필라델피아, 시카고 등 대도시에도 유사한 시스템이 가동 중이다.

고온건강경보시스템은 과거의 기상자료와 사망(또는 질병발생) 자료를 이용하여 두 변수 사이의 연관성을 나타내는 통계학적 모형을 만드는 것에서 출발한다. 설정된 모형에 가까운 미래, 즉 이틀이나 3일 이후의 기상예측 자료를 입력하여 다가올 기상조건에서의 인체 건강 위험성을 판단한다. 분석 결과 초과사망자의 수가 유의한 수준에 도달할 것으로 예측되면 그 정도에 따라 '정상(normal)', '주의 또는 위험(warning/advisory/alert)', '위험(emergency)' 등의 경보를 발령한다. 그리고 이 사실은 관계자와 대중들에게 미리 알려 적절한 조치를 취할 수 있도

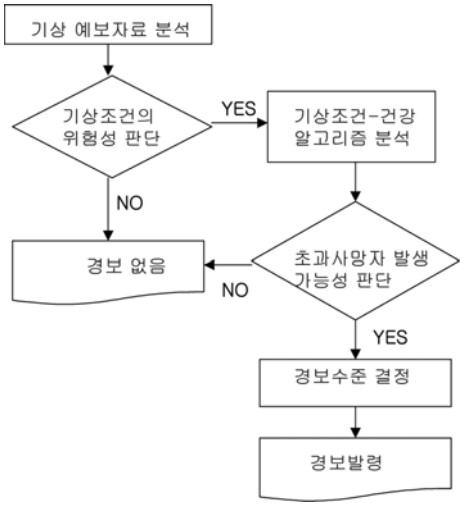


그림 3. 고온건강경보시스템 운영체계의 기본 구성.

[6]France에서는 Heat Watch Warning System (since 2004), Portugal의 수도 Lisbon에서는 ICARO's index를 이용한 Heat Waves Vigilance and Alert System, 영국에서는 Heatwave plan, 로마에서는 Heat Health Watch/Warning System (HHWWS) 등으로 명칭하고 있다. 본고에서는 이러한 시스템의 일반명사격인 고온건강경보시스템(HHWS)으로 사용하겠다.

[7]Koppe C, Jendritzky G, Kovats RS, Menne B. Heatwaves : impacts and responses. Copenhagen; World Health Organization, 2003

록 하는 시스템이다. 이러한 일련의 과정을 그림으로 정리하면 그림 3과 같다.

맺으며

본 고에서는 기후변화가 인간사회에 미치는 다양한 영향 중 인체건강에 영향을 미치는 경로를 개괄적으로 소개하고, 특히 여름철 혹서로 인한 건강피해에 관하여 논의하였다. 1994년 혹서를 비롯한 우리나라 여름철 고온으로 인한 초과사망을 추정한 결과 기상재해로 인한 피해를 줄이려는 노력에 못지않은 노력과 조치가 여름철 혹서관리에도 필요함을 알 수 있었다. 혹서로 이한 건강피해를 최소화하기위한 방안의 하나로 다른 나라의 대도시에서 이미 많이 시행하고 있는 고온건강경보시스템을 소개하였다.